
材料内部欠陥形成機構の解明と非破壊検出法の開発

研究代表者 理工学研究部(工学) 塩澤 和章

1. 目的

機械・構造物の高効率化，省エネルギー化，軽量化，環境保全などの観点から，高強度，高硬度，高じん性，高対摩耗性，高疲労強度を有する機能性材料の要求が高まってきている．これらの要求に対して，金型用材料として開発されてきた高速度工具鋼の高機能性機械要素部材への適用が検討され，また，新しい高速度工具鋼の開発が行われてきている．本研究では，従来の高速度工具鋼の特性を保持し，且つ疲労強度特性に優れた高速度工具鋼の開発を行い，その疲労強度特性を評価して新合金開発の指針を得ることを目的とした．

2. 内部疲労き裂発生機構と新合金開発指針

高強度・高硬度鋼の疲労挙動の特徴は，高応力振幅・短寿命域における表面き裂発生型破壊から低応力振幅・長寿命域における内部き裂発生型破壊に遷移して二重 S-N 曲線或は二段折れ曲がり S-N 曲線を生じることである．とりわけ，内部き裂発生型破壊は材料内に存在する非金属介在物或は粗大な炭化物を起点とするものであり，更には超高サイクル域の破壊においてはき裂発生起点となった介在物などの周囲に G B F (Granular Bright Facet) 領域が形成される．この G B F 領域の形成が超高サイクル域の疲労を支配するものであり，この機構の解明が重要である．当該研究者らは G B F 領域の詳細な観察，コンピュータ・シミュレーション等を行い，「微細炭化物の離散剥離説」を提案してきた．これは，材料内部の非金属介在物又は粗大炭化物の周囲に存在する微細炭化物が疲労過程中に基材から剥離して微小き裂が発生し，この微小き裂の連結と進展によって G B F 領域が形成するものである．この説に従えば，基材中の微細炭化物の大きさ及び数量を制御することによって内部き裂発生型破壊を抑制することが可能となる．

3. 実験結果および考察

本研究では上記の開発指針に従って開発高速度工具鋼 MHS2 を新たに作成した．比較材として JIS SKH51 材を用いて評価を実施した．

図 1 は MHS2 及び SKH51 に含まれる炭化物の極値統計による測定結果である．図より，両供試材中には炭化物が形成されているが，その大きさは MHS2 の方が SKH51 に比べて小さくなっていることがわかる．後に述べる疲労試験における危険断面積中に含まれる粗大炭化物の大きさの推定値は MHS2 で $10\mu\text{m}$ ，SKH51 で $11.9\mu\text{m}$ である．

図 2 は基材中に存在する微細炭化物の大きさの分布を測定した結果である．SKH51 には多くの微細炭化物が分布しており，その大きさの平均値は $1\mu\text{m}$ 程度である．一方，MHS2 には微細炭化物の数は SKH51 に比べて極端に少なくなっており，その大きさの平均値は $0.5\mu\text{m}$ 程度である．SKH51 の微細炭化物は MC 系及び M_6C 系の両炭化物が同程度観察されたのに対して，MHS2 には M_6C 系炭化物のみが若干観察され，MC 系炭化物は認められなかった．なお，SKH51 のビッカース硬さは 763HV，MHS2 のそれは 734HV であり，両材の硬さに大き

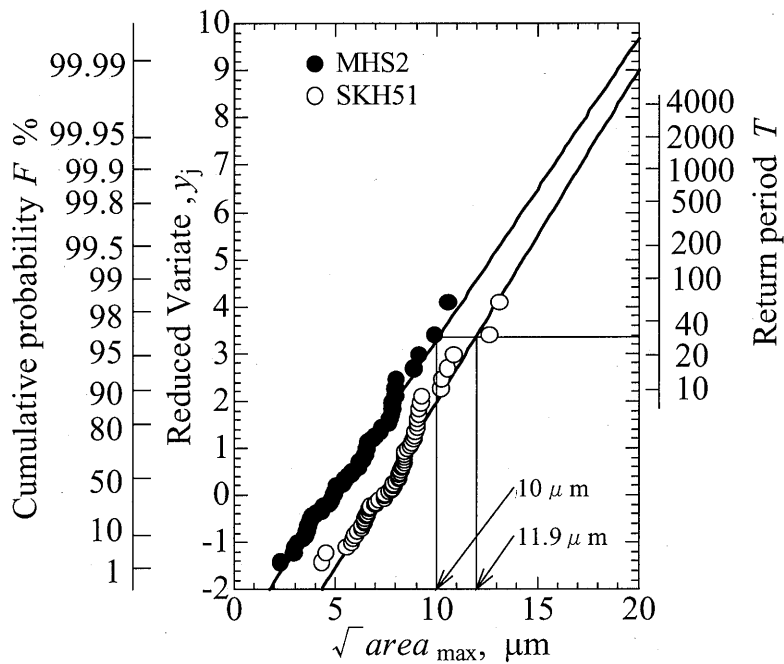


図1 炭化物の極値統計解析結果

な差異は認められなかった。

4連式片持ち回転曲げ疲労試験機を用いて、繰返し速度 50Hz、室温・大気中の実験室雰囲気下で、両材の超高サイクル域における疲労強度特性評価を行った。試験片形状は最小断面直径 3mm の砂時計型試験片である。SKH51 及び MHS2 の疲労試験から得られた S-N 曲線を図 3 に示す。SKH51 は高応力振幅・短寿命域における表面の非金属介在物 (Al_2O_3 系) または炭化物を起点とする表面き裂発生型破壊から、低応力振幅・長寿命域における内部き裂発生型破壊に遷移する二重 S-N 曲線を示した。長寿命域で内部き裂発生起点となった介在物周囲には G B F 領域が観察された。一方、MHS2 は、高応力振幅・短寿命域において炭化物をき裂発生起点とする表面き裂発生型破壊となり、低応力振幅・長寿命域では表面の組織割れによる破壊であり、内部き裂発生型破壊は生じず、また、き裂発生起点には炭化物も

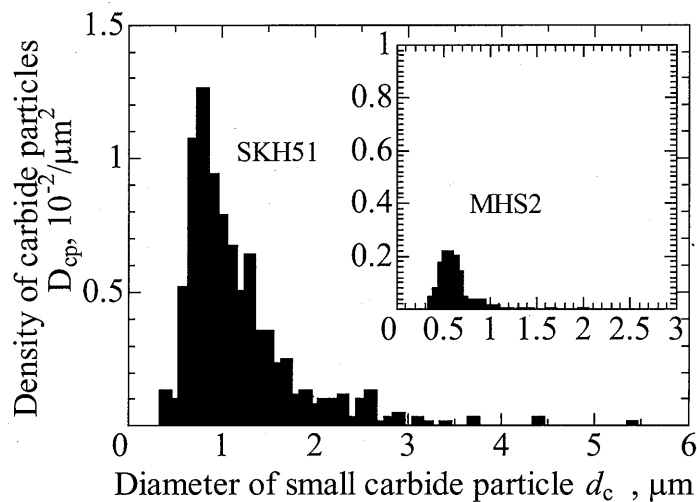


図2 基材中の微細炭化物の大きさ分布

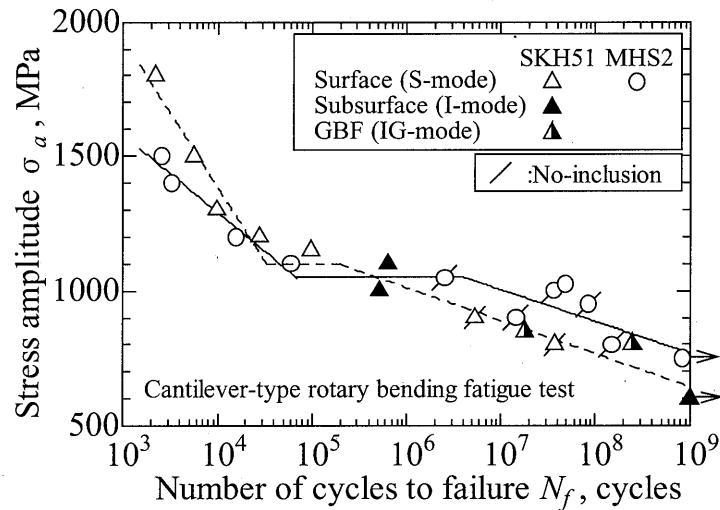


図3 片持ち回転曲げ疲労試験から得た S-N 曲線

観察されなかった。疲労強度は短寿命域において、SKH51の方がMHS2よりも高強度であるが、長寿命域においては逆にMHS2の方が高強度である。長寿命域においてMHS2に炭化物を起点とする内部破壊を生じなかった理由は、炭化物周囲に微細炭化物が存在しないことから、GBF領域を形成することができなかつたためであると考えられる。

4. まとめと今後の課題

内部疲労破壊を抑制し、かつ超高サイクル域において高疲労強度特性を有する高速度工具鋼を開発した。高サイクルから超高サイクル域に渡って表面破壊のみを生ずる本合金は機械・構造部材の保守・点検における信頼性を確保することができ、有用な機械用材料として利用の拡大が期待される。この表面破壊のみを生ずる新合金に対しては、適切な表面改質処理などによって更に疲労強度を向上させることが可能であろうと考えられ、今後の課題である。

利用施設

- ・ X線残留応力測定装置
- ・ 走査型プローブ顕微鏡